

Котюжанский Л.А., Щелкунов М.Л., Коренберг В.М., Матвеева Т.А.

Kotjuzhanskij L.M., Shchelkunov M.L., Korenberg V.M., Matveeva T.A.

ФИЗИЧЕСКАЯ СИМУЛЯЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ  
ВОДЫ ДЛЯ ИНТЕРАКТИВНОЙ ПРОЕКЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА  
ПЛОСКОСТЬ

PHYSICAL SIMULATION AND VISUALIZATION OF THE SURFACE OF  
WATER FOR THE INTERACTIVE PROJECTION OF THE IMAGE TO THE  
PLANE

*Myspirit777@yandex.ru*

*ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет –  
УПИ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»  
г. Екатеринбург*

*Представлена новая крупная междисциплинарная задача для решения  
проектным методом в рамках дисциплины «Учебно-исследовательская ра-  
бота студентов».*

*The new large interdisciplinary task for the decision is submitted by a design  
method within the framework of discipline «Educational -research work of stu-  
dents».*

Интерактивная проекция любого изображения на плоскость может представлять собой новый, захватывающий инструмент рекламы для эффектной демонстрации или презентации чего-либо. В этой статье рассматривается построение визуального эффекта динамической водной поверхности для интерактивной проекции изображения. В рабочем виде это выглядит так: на пол или стену проецируется динамическое изображение водной поверхности, в которой может отражаться любая картинка или видео. Пройдя по полу, вы создадите рябь на воде так, как если бы действительно ступали по воде, что будет сопровождаться соответствующим изменением отражения. На вертикальной плоскости эффект интерактивности создается, например, руками оператора.

**Физическая симуляция эффекта воды**

Для симуляции водной поверхности использовалась узловая сетка, состоящая из  $128 \times 128$  элементов. Основной задачей ставилось максимально реалистичное физическое моделирование и визуализация поверхности воды. За основу был взят общеизвестный сеточный метод решения уравнения колебаний однородной мембраны [1]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}. \quad (*)$$

Здесь  $t$  – время,  $x, y$  – координаты точки плоской мембраны,  $u = u(x, y, t)$  – закон колебаний мембраны. Решая это уравнение, с учетом начальных и граничных условий, мы получим достаточно реалистичную картину поверхности воды в зависимости от времени.

Основные характеристики для создания эффекта динамической водной поверхности: *вершина* (узел координатной сетки) с вектором нормали к поверхности в данном узле в данный момент времени и координатами узла; массив ( $n$  или  $p$ ), содержащий *высоты водной поверхности* в узлах регулярной сетки в определенный момент времени.

#### Основные шаги моделирования водной поверхности

1. Возмущение водной глади – формирование массива  $n$ , исходя из начальных условий, с помощью модуля распознавания движения.
2. Обновление информации об  $u(x, y, t)$  и вычисление нормали для каждой точки поверхности, соответствующей узлу координатной сетки.
3. Вычисление значений правой части уравнения (\*).

$$laplas = (p \rightarrow u[-1][j] - p \rightarrow u[+1][j] - p \rightarrow u[i][j+1] + p \rightarrow u[i][j-1]) * 0.25 - p \rightarrow u[i][j] .$$

4. Вычисление новых значений  $u(x, y, t)$ . Заметим, что в массиве  $p$  мы храним высоту воды на прошлом кадре, а в массиве  $n$  - текущую высоту воды. Таким образом, мы используем значения с двух временных слоев, значения  $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$  на текущем слое и некоторое

число  $visc$ . Последнее – вязкость, причина затухания колебаний, без учета которой не добиться реалистичной картины моделируемого явления.

$$n \rightarrow u[i][j] = ((2.0 - visc) * p \rightarrow 0.25 - p \rightarrow u[i][j] - n \rightarrow u[i][j] * (1.0 - visc) + laplas)$$

5. «Отрисовка» получившейся поверхности воды.
6. Переключение временных слоев. Только что вычисленные значения становятся «новыми», а предыдущий массив «стареет».
7. Передача данных о нормалях шейдеру, который корректно накладывает текстуру отражения, с учетом нормалей поверхности воды.

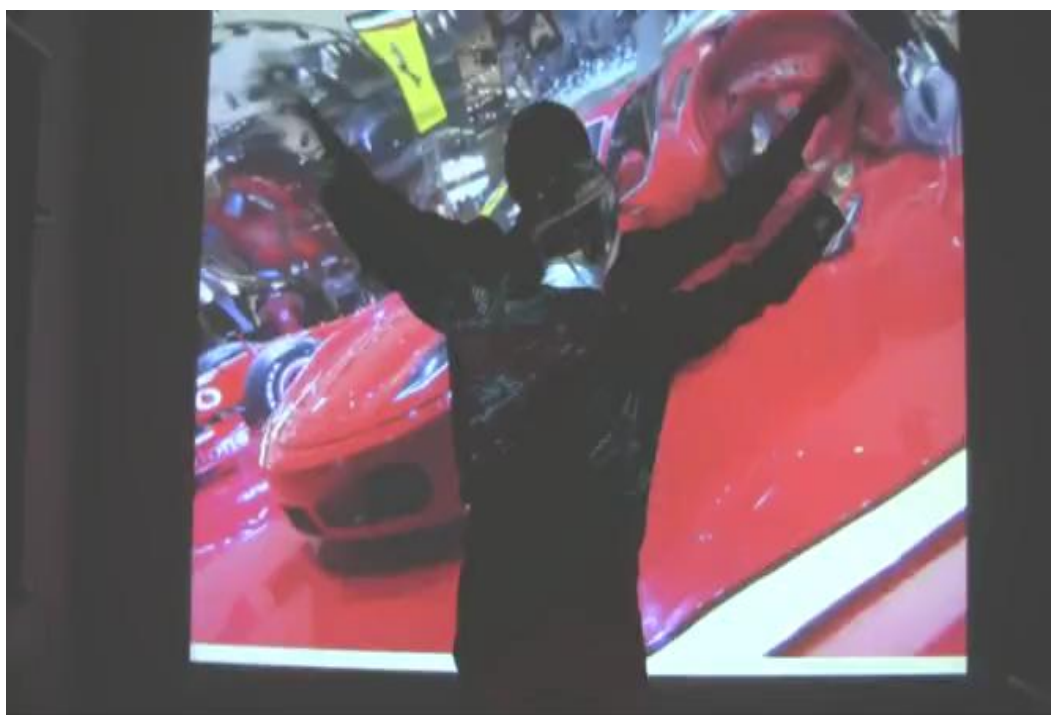
Так как скорость распространения волны пропорциональна локальной глубине  $u$ , была введена функция глубины (дополнения в вычислениях затронули третий шаг симуляции):

```
#define u0(float)(5 + (abs(i + j - 127) + abs(i - j))) // функция глубины водоема;
#define a2 5.0 / sqrt(u0 + n → u[i][j]) // квадрат скорости распространения волн;
p → u[i][j] = (((2.0 - visc) * n → u[i][j] - p → u[i][j] * (1.0 - visc) + a2 * laplas)) .
```

Иллюстрации различных фаз симуляции и визуализации динамической поверхности воды с проецируемым изображением приведены на рис.1,2.



*Рис. 1а. Исходное изображение*



*Рис. 1б. Работа действующего прототипа интерактивной проекции изображения с эффектом динамической поверхности воды*



Рис. 2а. Пример исходного изображения

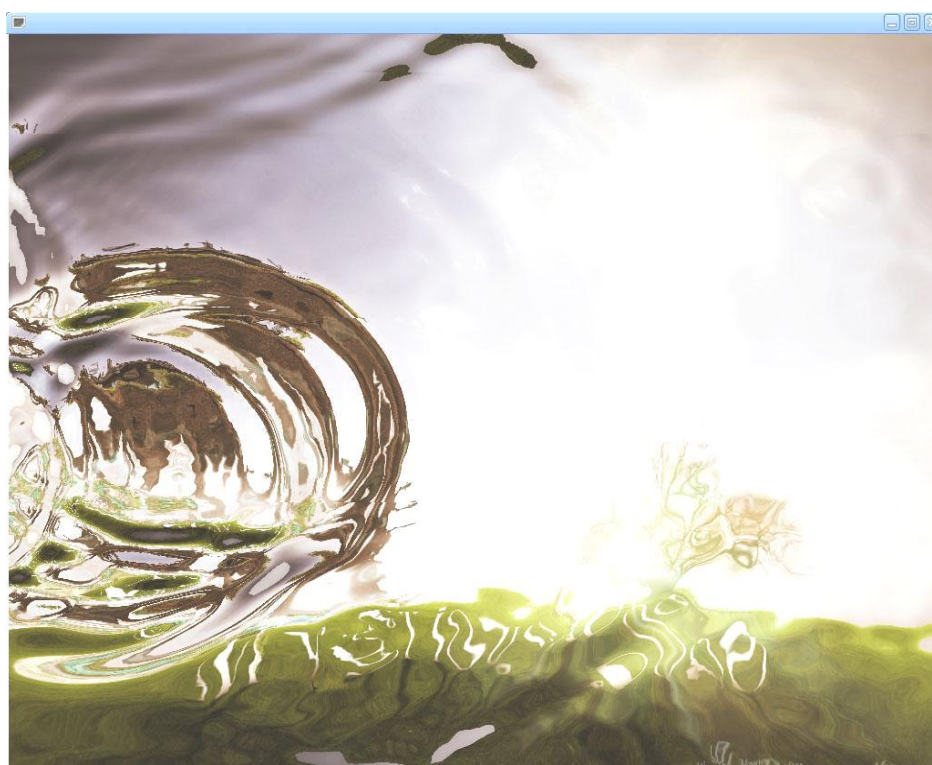


Рис. 2б. Одна из фаз динамической интерактивной проекции изображения

На системе CORE 2 DUO 3.2ггц с видеокартой Geforce 7900 GTX эффект выдает около 250 кадров в секунду при разрешении экрана 1024×768, что является более чем приемлемым по скорости при использовании этого эффекта в связке с модулем распознавания в интерактивных проекциях.

Лаврентьев М. А., Шабат Б. В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. – М.: Наука, 1973. – 416 с.